ROBERT FELGNER/KUNO HOTTENROTT

Herzfrequenzvariabilität bei Laufband-, Ruder- und Radergometerbelastungen

1 Einleitung und Fragestellung

Im Freizeit- und Gesundheitssport nehmen die Ausdauersportarten in allen Altersgruppen einen immer größeren Stellenwert ein. Die positiven Wirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden sind dabei unumstritten. Sportarten, wie Laufen, Radfahren und Rudern, rufen beim Menschen unterschiedliche motorische Beanspruchungen hervor, die entsprechende Herz-Kreislauf-Reaktionen nach sich ziehen. Das Laufen zeichnet sich beispielsweise durch die stehende Körperlage aus, wobei das Körpergewicht fortwährend von der unteren Extremität getragen wird und somit Stoßbelastungen auftreten. Charakteristisch für das Radfahren ist der geringste Anteil an aktiver Muskulatur. Dabei treten in sitzender Position keine Stoßbelastungen auf. Beim Rudern hingegen erfährt zusätzlich die Oberkörpermuskulatur eine verstärkte Beanspruchung, wobei insgesamt eine Kraftausdauerleistung zu erbringen ist. Aufgrund der unterschiedlichen Körperhaltungen und Beanspruchungen des Stütz- und Bewegungsapparats lässt sich eine differenzierte Inanspruchnahme der inneren Systeme vermuten. Dies könnte sich in einem unterschiedlichen Verhalten der Herzfrequenzvariabilität widerspiegeln. Aus den unterschiedlichen motorischen Beanspruchungen ergeben sich zudem unterschiedliche Belastungsvorgaben für die Trainingsherzfrequenz in diesen Sportarten (Hottenrott & Zülch, 2002, Neumann et al.,2000).
Ziel der vorliegenden Studie ist es, zu prüfen, welchen Einfluss unterschiedliche zyklische Lokomotionen (Laufen, Radfahren, Rudern) auf Parameter der Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei ansteigender Belastungsintensität haben.

2 Methodik

2.1 Probanden

Für die Untersuchung konnten 16 gesunde Sportstudenten (8 Frauen, 8 Männer) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg rekrutiert werden. Die Probanden durften zwei Stunden vor der Untersuchung keine feste Nahrung zu sich nehmen, sich am Untersuchungstag noch nicht intensiv körperlich belastet haben und während der Messungen weder essen noch trinken. Die Untersuchungen fanden meist zwischen 8 und 14 Uhr statt.

Tab. 1. *Probandenkollektiv (Minimum, Maximum, Mittelwerte und Standardabweichung)*

		N	Min.	Max.	MW	SD
Alter	Jahre	16	21	29	23,94	2,62
Größe	Cm	16	164	190	176,31	7,41
Gewicht	Kg	16	57	93	69,469	9,676
Ruhepuls	Schläge pro Minute	16	47	71	57,50	8,21

2.2 Untersuchungsdesign

An drei verschiedenen Tagen realisierten die Probanden jeweils vier Stufentests in Folge. Die Belastungsdauer pro Stufe betrug jeweils eine Minute. Die Probanden bekamen die Aufgabe gestellt, auf der ersten Stufe eines Stufentests mit der möglichst niedrigsten Herzfrequenz zu beginnen. Fortlaufend sollte die Intensität so gesteigert werden, dass die Herzfrequenz auf jeder weiteren Stufe um möglichst exakt 10 Herzschläge pro Minute ansteigt. Ein Stufentest dauerte mindestens sechs und maximal acht Minuten. Daran schloss sich jeweils eine Ruhepause an, in der die Probanden in bequemen Sesseln Entspannungsmusik hören konnten. An jedem Testtag wurde mit einem anderen Cardiogerät begonnen, wobei die nachfolgenden zwei Geräte randomisiert gewechselt wurden. Das jeweils erste Gerät wurde zum Schluss noch einmal wiederholt, um eventuelle Ermüdungserscheinungen zu erfassen.

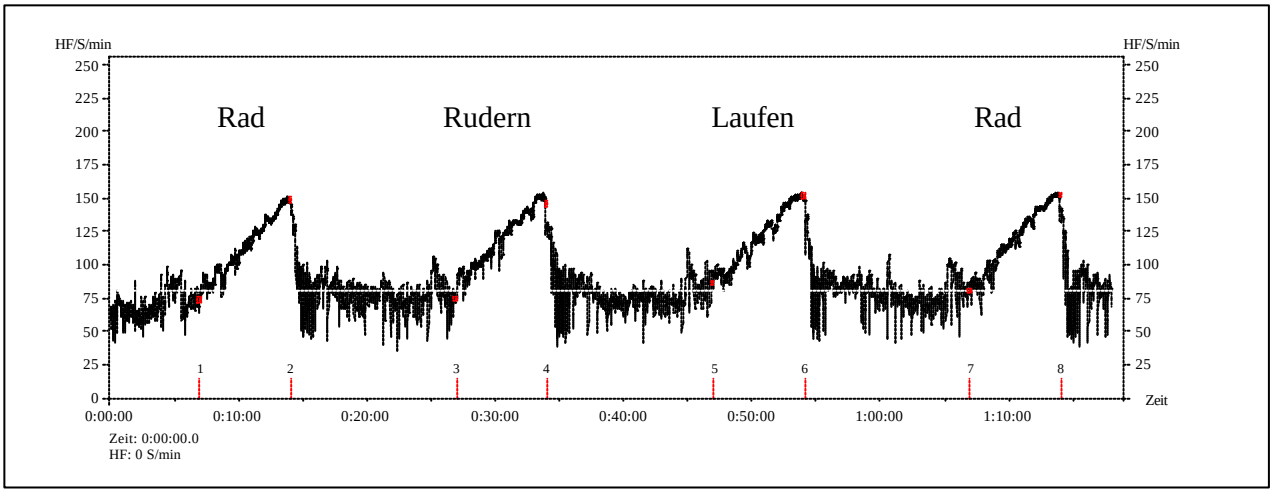

Abb. 1. Beispielhafter Untersuchungsablauf anhand eines Herzfrequenztachogramms (Proband 1, erster Messtag).

Um den Randomisierungseffekt zu verstärken, wurden für die Probanden zwei verschiedene Untersuchungsdesigns konzipiert, die gleichermaßen zur Anwendung kamen. Somit war es möglich, zwei Probanden gleichzeitig zu testen. An jedem der drei Testtage absolvierten die Probanden jeweils vier Stufentests, so dass bei 16 Probanden insgesamt 192 Stufentests ausgewertet werden konnten.

Tab. 2. *Untersuchungsdesign von Proband 1 und 2 an drei Messtagen*

	Proband 1	**Proband 2**
1.Tag	Rad – Rudern – Lauf - Rad	Lauf - Rad - Rudern – Lauf
2.Tag	Rudern – Rad - Lauf - Rudern	Rad - Lauf - Rudern – Rad
3.Tag	Lauf – Rudern - Rad - Lauf	Rudern - Rad - Lauf – Rudern

2.3 *Datenerhebung und –verarbeitung*

Die Bestimmung der OwnZone® erfolgte mit den Modellen M32 und M52 von der Firma Polar Electro. Die ermittelten Werte wurden für jeden Probanden protokolliert. Mit dem Herzfrequenzmessgerät S 810 (Polar Electro) wurde die Herzfrequenz im RR-Intervall erfasst. Die gespeicherten Daten wurden mittels Interface in den Computer übertragen und mit der Software „Polar Precision Performance 4.0“ ausgewertet. Artefakte wurden einzeln per Hand in der zugehörigen Microsoft-Excel-Datei beseitigt. Bei allen RR-Protokollen lag die Fehlerrate unter 5%. Um Veränderungen der einzelnen HRV-Parameter bei steigender Belastungsintensität auswerten zu können, wurde für jedes Gerät jede einzelne Minute aus dem Stufentest markiert und analysiert. Ausgewertet wurden die Parameter der Zeitbereichs-Analyse SD1 und SD2.

2.4 *Statistische Datenprüfung*

Für die Datenanalyse wurde das Statistikprogramm SPSS Version 11.0 verwendet. Die metrischen Daten wurden zunächst mittels Histogrammanalyse, einschließlich Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest, auf Normalverteilung geprüft. Die varianzanalytische Auswertung der OwnZone® - Tests erfolgte multifaktoriell in einem Allgemeinen Linearen Modell (GLM) mit Messwiederholung.
Zusammenhänge zwischen zwei Variablen wurden in Abhängigkeit vom Skalenniveau mit bivariaten Korrelationen (nach Pearson bzw. Spearman) geprüft.
Für die statistische Prüfung wurde ein Signifikanzniveau von $p<0,05$ (*) (signifikant) bzw. $p<0,01$ (**) (hoch signifikant) festgelegt (Bortz & Döring, 2002).

3 Ergebnisse

3.1 OwnZone®

Bestimmbarkeit der OwnZone®
Abbildung 2 zeigt die Bestimmbarkeit der OwnZonen in Abhängigkeit vom jeweiligen Ausdauerfitnessgerät. Es kamen jene Werte in Betracht, bei denen die Messsysteme M32 und M52 den Zielzonenbereich gemeinsam mit OZ.V (OwnZone Variabilität) anzeigten. Dies wird der Anzahl der durchgeführten Stufentests gegenübergestellt. Von insgesamt 192 Stufentests lies sich 144 mal OZ.V bestimmen.

Auf dem Radergometer waren dabei wesentlich mehr OZ.V-Bestimmungen (93,8%) möglich als auf dem Laufband und dem Rudergerät (je 66,6%).

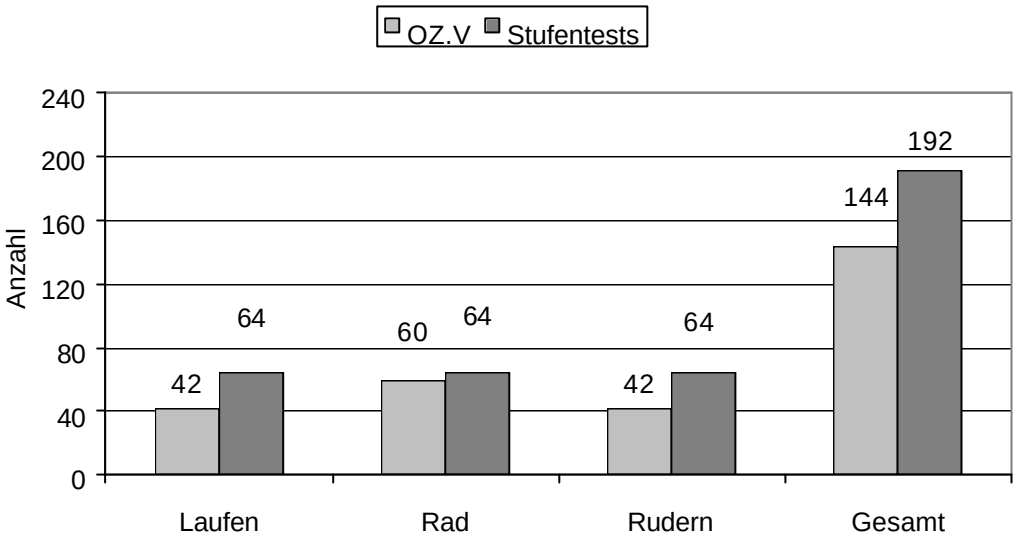

Abb. 2. Anzahl der Stufentests und Anzahl der bestimmten OZ.V-Werte (OwnZone Variabilität)

Vergleich zwischen M32 und M52

Da zur Ermittlung der OwnZone zwei verschiedene Messsysteme benutzt wurden, soll ein Vergleich der jeweiligen Mittelwerte erfolgen. Es wurden jene Werte betrachtet, die während eines Stufentests von beiden Messsystemen angezeigt wurden. Zwischen beiden Messsystemen ließen sich keine Unterschiede nachweisen.

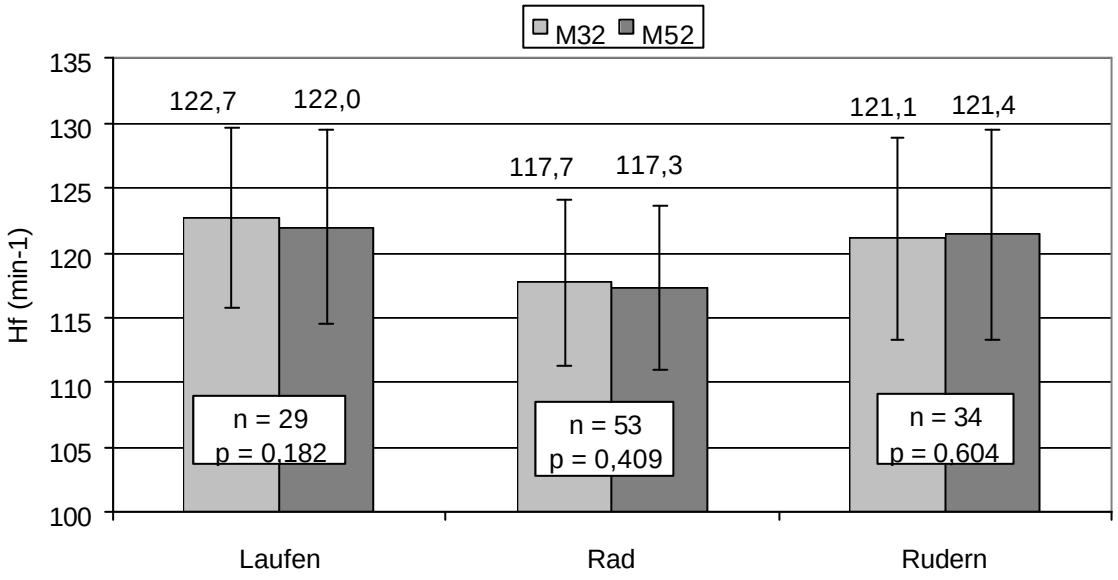

Abb. 3. Vergleich der OwnZone-Untergrenze zwischen M32 und M52

Einfluss der Vorbelastung auf die OwnZone®

An jedem Messtag wurde jeweils ein anderes Cardiogerät zweimal durchlaufen. Dabei befanden sich die Probanden einmal im ausgeruhten und einmal im vorbelasteten Zustand. Es soll überprüft werden, ob die wiederholten aeroben Vorbelastungen einen Einfluss auf die Ausprägung der OwnZone nehmen. Untersucht wurden die Werte, die von demselben Messsystem sowohl im ausgeruhten als auch im vorbelasteten Zustand ermittelt wurden. Zwischen den jeweils bestimmten OwnZone-Werten besteht kein Unterschied. Somit haben diese Vorbelastungen keinen Einfluss auf die OwnZone.

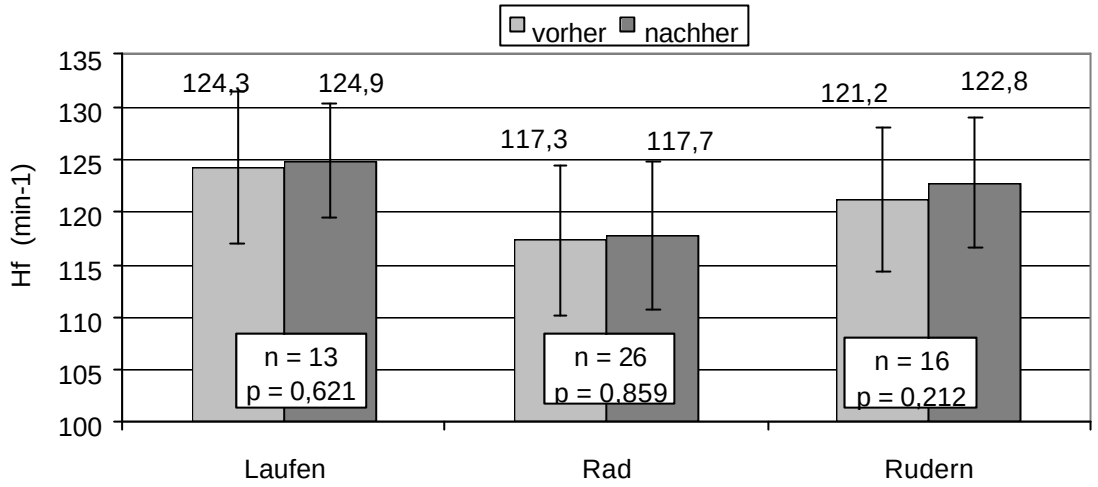

Abb. 4. Einfluss der wiederholten aeroben Vorbelastung auf die OZ.V-Werte

OwnZone® in den Sportarten

Geprüft wurde der Einfluss der unterschiedlichen motorischen Beanspruchung auf die OwnZone®. Für das Radergometer wurde dabei mit 117,2 ± 6,4 Schlägen pro Minute der niedrigste Zielzonenbereich (p=0,000) ermittelt. Demgegenüber besteht zwischen dem Laufband (123,0 ± 7,3 min^{-1}) und dem Rudergerät (121,9 ± 7,9 min^{-1}) kein Unterschied (p=0,617).

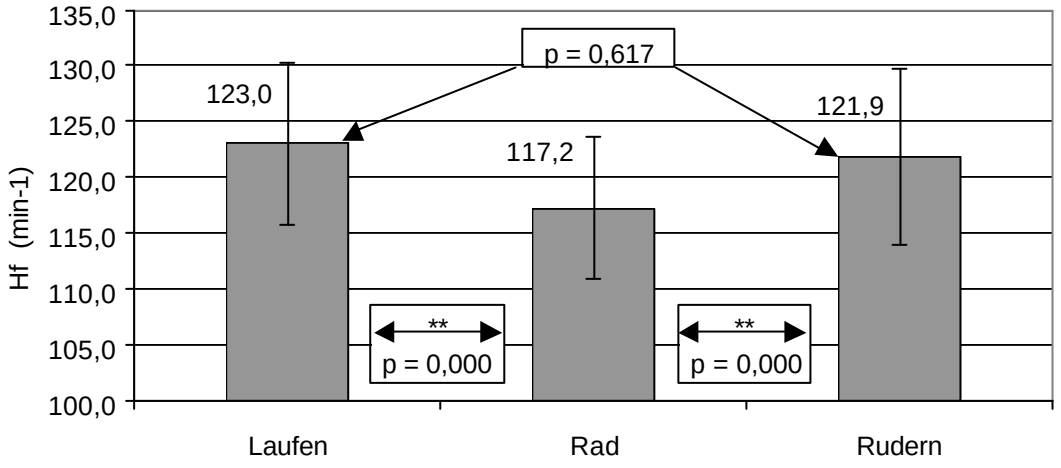

Abb. 5. Mittelwerte und Standardabweichungen der OZ.V-Werte in den Sportarten

3.2 HRV-Parameter

Herzfrequenz während der Stufentests

Im Mittel begannen die Probanden die Stufentests bei einer Herzfrequenz von 85 Schlägen pro Minute. Je Belastungsstufe wurde die Herzfrequenz 10 Schläge pro Minute unabhängig vom Cardiogerät erhöht. Auf der achten Stufe erreichten die Probanden eine Herzfrequenz von durchschnittlich 152 Schlägen pro Minute. Eine maximale Ausbelastung erfolgte nicht. Zwischen den Geräten zeigten sich auf keiner Stufe signifikante Herzfrequenzunterschiede, d.h. die Probanden erzielten auf jeder Stufen unabhängig vom Ergometer die gleiche Herzfrequenz (Tab. 3).

Tab. 3. *Herzfrequenzen während des OwnZone-Stufentests.*

Stufen		**Laufen**	**Rad**	**Rudern**
	n	**MW ± SD**	**MW ± SD**	**MW ± SD**
1	64	85,7 ± 10,7	85,6 ± 9,6	85,5 ± 10,1
2	64	91,5 ± 9,5	94,2 ± 8,6	93,5 ± 8,8
3	64	102,3 ± 10,2	104,4 ± 9,3	103,8 ± 8,9
4	64	114,8 ± 10,1	115,1 ± 9,5	113,8 ± 8,7
5	64	126,1 ± 10,6	125,2 ± 9,1	123,7 ± 8,7
6	64	136,0 ± 10,0	135,4 ± 9,3	133,7 ± 8,3
7	56	145,4 ± 10,6	144,6 ± 8,7	143,5 ± 8,3
8	19	150,3 ± 10,0	153,7 ± 8,1	152,4 ± 6,8

SD1- und SD2-Werte

Mit steigender Belastungsintensität nimmt die Variabilität der SD1- Werte ab und es bildet sich ein Plateau aus. Tendenziell wird beim Rudern das Plateau bei einem höheren SD1-Wert erreicht als beim Rad fahren. Varianzanalytisch (GLM) konnten keine Unterschiede zwischen den drei Cardiogeräten auf den acht Belastungsstufen nachgewiesen werden (Abb. 6).

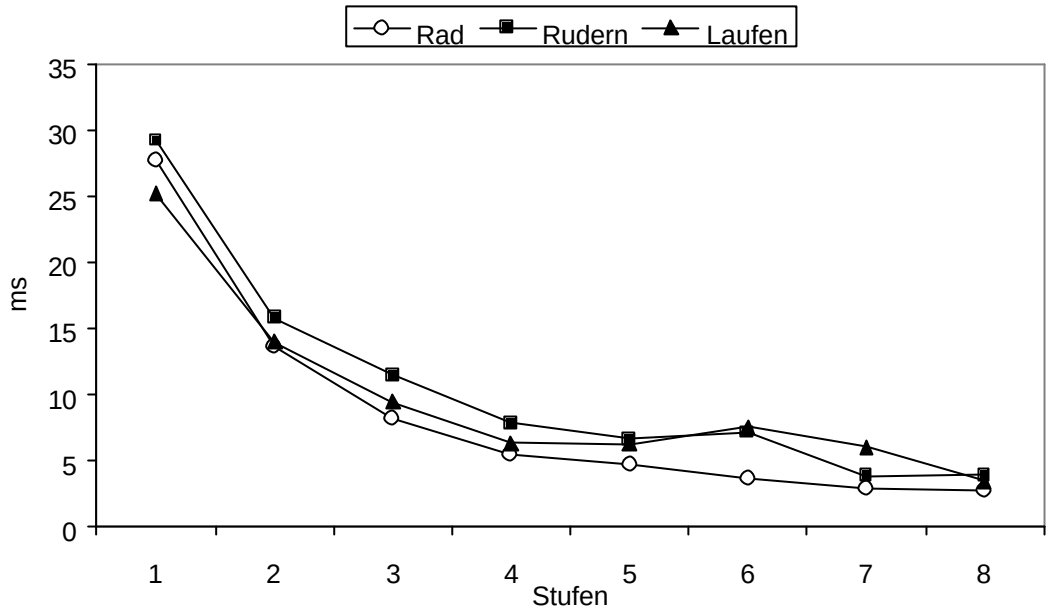

Abb 6: SD1-Werte bei steigender Belastungsintensität

Die Kurvenverläufe der SD2-Werte nehmen bei steigender Belastungsintensität fast linear ab und tendieren dabei nicht zu einer Plateaubildung. Die Varianzprüfung ergab ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Cardiogeräten (Abb. 7).

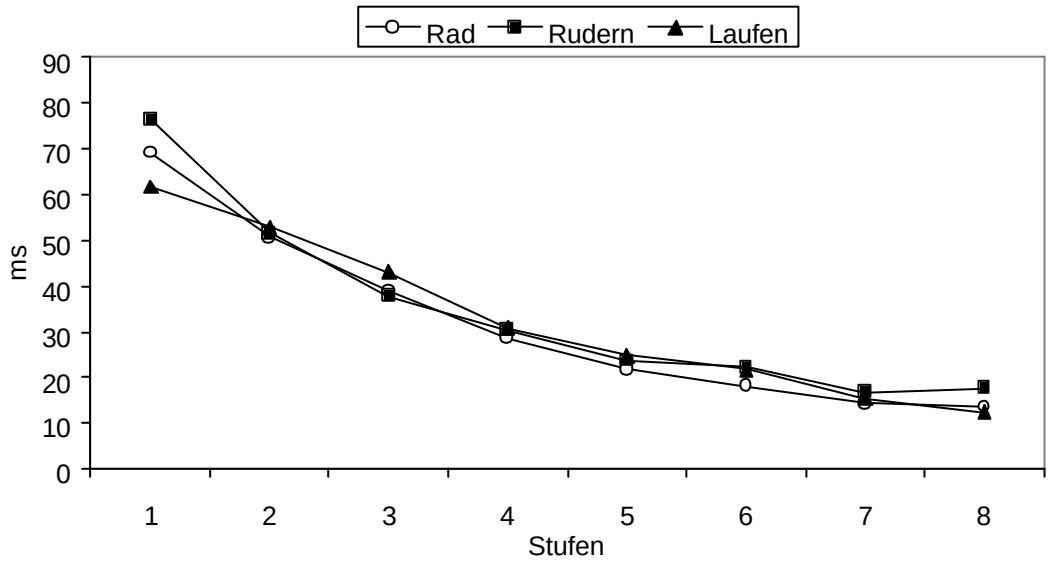

Abb. 7. SD2-Werte bei steigender Belastungsintensität

Herzfrequenz bei $SD1_{4ms}$

Bestimmt wurde die Herzfrequenz bei einem SD1-Wert von 4 ms. Dieser Wert wurde gewählt, da die Kurvenverläufe im Bereich von 4 ms zu einer deutlichen Plateaubildung tendieren. Für das Radergometer wurde dabei mit 115,4 ± 8,2 Schlä-

gen pro Minute der niedrigste Hf-Wert ermittelt (p=0,000). Zwischen den Hf-Werten des Rudergerätes (123,4 ± 10,3 min^{-1}) und des Laufbands (123,7 ± 10,9 min^{-1}) bestehen hingegen keine Unterschiede (p>0,1) (Abb. 8).

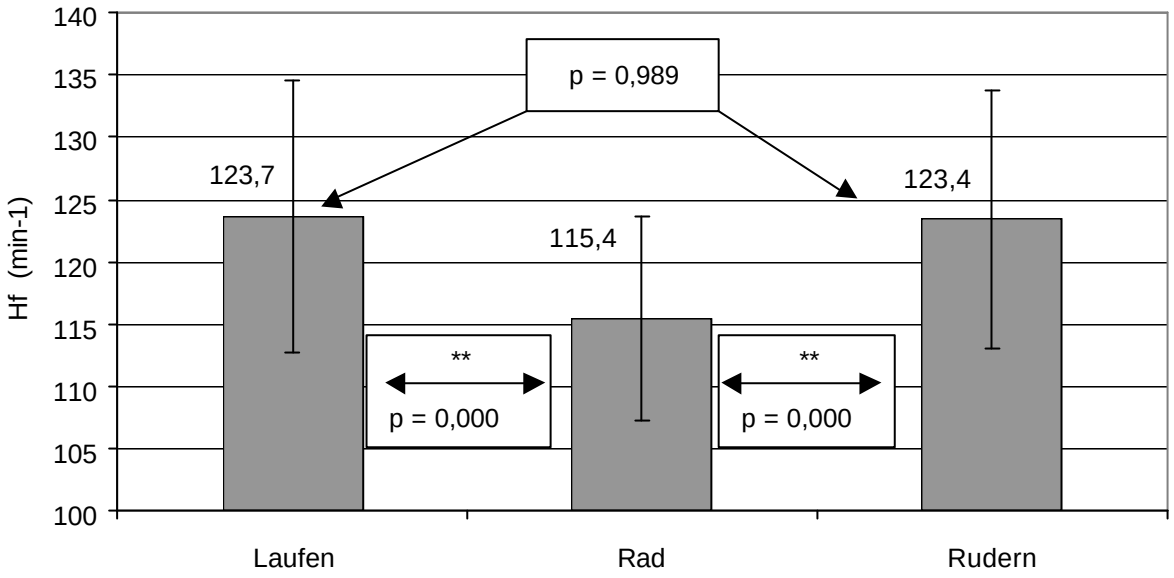

Abb. 8. Mittlere Herzfrequenz und Standardabweichung bei einem SD1-Wert von 4 ms ($SD1_{4ms}$)

Vergleich der OZ.V-Werte mit der Herzfrequenz bei $SD1_{4ms}$

Für den Vergleich *OZ.V-Werte mit der Herzfrequenz bei $SD1_{4ms}$* mit der Herzfrequenz bei $SD1_{4ms}$ kamen jene Werte in Betracht, die sich jeweils paarweise bestimmen ließen. Auch hierfanden sich keine Unterschiede zwischen den *OZ.V-Werten und der Herzfrequenz bei $SD1_{4ms}$* (Abb. 9).

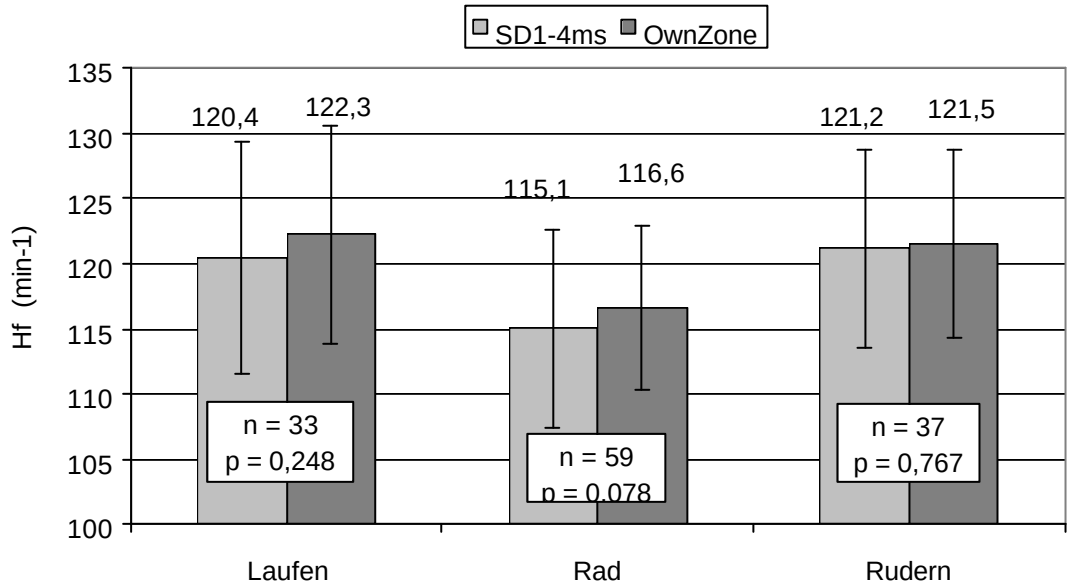

Abb. 9. Vergleich der OwnZone-Herzfrequenz und der $SD1_{4ms}$-Herzfrequenz

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die höhere Quote in der Bestimmbarkeit der OZ.V-Werte beim Rad fahren im Vergleich zum Rudern und Laufen deutet darauf hin, dass möglicherweise die starke Oberkörperbewegung bzw. das wechselseitige Pendeln der Armen beim Laufen einen Einfluss auf die OwnZone-Bestimmung hat. Das Rad fahren zeichnet sich durch eine ruhige Oberkörperaktivität und einer stabilen Armposition am Lenker aus. Bewegungsartefakte treten weniger auf.

Zwischen den ermittelten OZ.V-Werten der M32 und der M52 bestehen keine Unterschiede. Die Hersteller von Polar schlagen für die M32 einminütige und für die M52 zweiminütige Steigerungsraten vor (Polar 2003[1,2]). Den Ergebnissen zufolge gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden Modellen hinsichtlich der OwnZone-Werte. Folglich ist mit einminütigen Steigerungen eine schnellere OwnZone-Bestimmung möglich.

Die wiederholten, aeroben Vorbelastungen haben keinen Einfluss auf die OwnZone. Dies resultiert aus den identischen OwnZone-Werten, die sowohl im ausgeruhten als auch im vorbelasteten Zustand ermittelt wurden. Für den Sportler ist dieses Ergebnis insofern relevant, als dass bei einer fehlgeschlagenen OwnZone-Bestimmung nach kurzer Pause eine erneute Bestimmung der OwnZone zu gleichen Werten führt. Allerdings könnten sich andere OwnZone-Werte ergeben, wenn die Vorbelastung bereits hoch intensiv ist, d.h. den anaeroben Stoffwechsel beansprucht.

Die ermittelten OZ.V-Werte beim Rad fahren sind niedriger als beim Laufen, was mit trainingsmethodischen Empfehlungen für ein Grundlagenausdauertraining konform geht. Für das Radergometer wurde stets der niedrigste Zielzonenbereich bestimmt. In der Literatur wird für den selben Trainingsbereich im Radfahren stets niedrigere Trainingsherzfrequenzen angegeben als im Laufen (Hottenrott & Zülch, 2002, Neumann et. al., 2000). Die identischen Werte von Laufen und Rudern könnten aus den ähnlich hohen aktiven Muskelanteilen resultieren. Zu den Trainingsherzfrequenzen im Rudern gibt es allerdings nur allgemeine Angaben (Fritsch, 1999, Schröter, 1991).

Zwischen der Herzfrequenz bei einem SD1-Wert von 4 ms und der Herzfrequenz an der Untergrenze der OwnZone bestehen keine Unterschiede. Daher könnte die ermittelte Herzfrequenz bei $SD1_{4ms}$ ein relevanter Wert für die Bestimmung des Trainingsbereichs sein. Dies müsste allerdings in weiteren Studien überprüft werden.

6 Literatur

Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.

Engelhardt, M. (1994). *Erfolgreiches Triathlontraining*. München, Wien, Zürich: BLV.

Fritsch, W. (1999). *Handbuch für den Rudersport*. 3. Aufl. Aachen: Meyer und Meyer.

Hottenrott, K. & Zülch, M. (2002). *Ausdauertrainer Triathlon*. 4. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

Hottenrott, K. (Hrsg.) (2002). *Herzfrequenzvariabilität im Sport*. 1. Aufl. Hamburg: Czwalina.

Janssen, P.G.J.M. (1999). *Ausdauertraining*. 2. Aufl. Balingen: Spitta.

Löllgen, H. (1999). Herzfrequenzvariabilität. *Deutsches Ärzteblatt 96* (31-32), 2029-2032.

Neumann, G., Pfützner, A. & Hottenrott, K. (2000). *Alles unter Kontrolle*. 6. Aufl. Aachen: Meyer und Meyer.

Polar Electro GmbH Deutschland (2003)[1]. *Gebrauchsanleitung M31, M32*. Büttelborn.

Polar Electro GmbH Deutschland (2003)[2]. *Gebrauchsanleitung M51, M52*. Büttelborn.

Schröter, W. (1991). *Rudern*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

Unger, E. & Rößler, J. (2000). *Guide Fitnessgeräte*. Aachen: Meyer und Meyer.

Vestweber, K. & Hottenrott, K. (1999). *Die Herzfrequenzvariabilität. Ein Biofeedback-Parameter für psycho-physische Balance im Sport*. Marburg: o.V.

Zintl, F. & Eisenhut, A. (2001). *Ausdauertraining*. München: BLV.